

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ В СТАЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОРИЕНТАЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ

*Полякова А.А., Данилов С.В.*

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.

Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

anastasia.urfu@yandex.ru, s.v.danilov@bk.ru

**Аннотация.** Методом ориентационной микроскопии проанализирована зеренная структура образцов высокопрочной низколегированной трубной стали, полученных после контролируемой термомеханической обработки. Показаны возможности получения различных зеренных характеристик в зависимости от заданных «граничных» условий анализа.

**Ключевые слова:** структура, межзеренная граница, трубные стали, контролируемая термомеханическая обработка, бейнит, ориентационная микроскопия.

## INVESTIGATION OF GRAIN STRUCTURE IN STEELS BY MODERN METHODS OF ORIENTATION MICROSCOPY

*Polyakova A., Danilov S.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** The method EBSD is used to study the grain structure of low-carbon, low-alloy pipe steel sheets processed by controlled thermomechanical processing. The possibilities of obtaining different grain characteristics depending on the specified analysis limitations are shown. Investigation of grain structure in steels by modern methods of orientation microscopy

**Key words** structure, grain boundary, pipeline steel, thermo-mechanical controlled processing, bainite, EBSD.

Работа направлена на оценку возможностей ориентационной микроскопии (ОР) [1], основанной на дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD), для

анализа зеренной структуры в сложных случаях: разнотернистость как по размерам, так и по формам кристаллитов; большое количество мелких зерен; наличие заметного количества малоугловых границ, поскольку структура возникла в результате сдвигового превращения и т.п.

Исследование проводилось на образцах стали 06Г2МБ с преимущественно бейнитно-мартенситной структурой, приобретенной в результате контролируемой термомеханической обработки (ТМСП) [2, 3].

Высокая точность идентификации ориентаций, и, соответственно, локальных разориентаций при проведении EBSD-анализа (выше 90 % распознавания для всех исследуемых областей) позволили использовать программное обеспечение Oxford Instruments для определения параметров микроструктуры образцов по распределению всех межкристаллитных границ, характеризующихся углами разориентации, образующих их зерен (кристаллитов). Методом ОР были определены следующие характеристики кристаллитов или «зерен»: 1) средний размер, как диаметр окружности эквивалентной средней площади кристаллитов; 2) максимальный размер кристаллита; 3) среднее количество соседних кристаллитов; 4) вытянутость кристаллитов в направлении прокатки.

Все характеристики определялись для трех случаев, отличающихся условным определением понятия «кристаллит» (или «зерно»): I – в качестве кристаллита принимался объект, ограниченный со всех сторон границами с углами разориентации не менее  $7^\circ$ , анализ проводился по всем кристаллитам, в том числе имеющими размер  $\leq 1$  мкм (рис. 1, а); II – в качестве кристаллита принимался объект, ограниченный со всех сторон границами с углами разориентации не менее  $15^\circ$ , анализ проводился по всем кристаллитам, в том числе имеющими размер  $\leq 1$  мкм (рис. 1, б); III – в качестве кристаллита принимался объект, ограниченный со всех сторон границами с углами разориентации не менее  $15^\circ$ , анализ проводится по всем кристаллитам, за исключением размером  $\leq 1$  мкм (рис. 1, в). Учет 10-и градусных (то есть от  $7$  до  $15^\circ$ ) связан с возможностью их возникновения в структурах, образующихся по сдвиговому механизму согласно [4], причем в заметном количестве ( $\sim 15$  % от общего количества высокоугловых границ). То есть случай I представляется наиболее правильным.

Учет границ только с углом разориентации более  $15^\circ$  соответствует «классическому» подходу к понятию «высокоугловая межзеренная граница», то есть соответствует классическому определению «зерна». Исключение кристаллитов, размером  $\leq 1$  мкм, заметная часть которых всегда соответствует

не идентифицированным микрообластям максимально приближает изображение EBSD к металлографическому. Однако в случае ОР процедура, соответствующая случаю III, фактически, выделяет не зерна, а области с практически одинаковой кристаллографической текстурой, т.е. области возможного распространения трещин при разрушении, согласно [3].

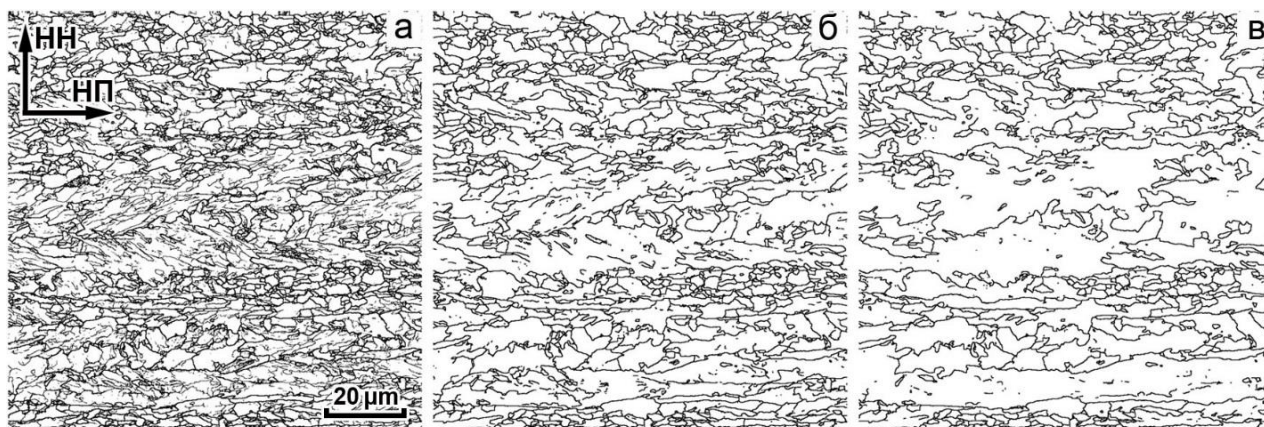


Рисунок 1 – Микроструктура стали 06Г2МБ после ТМСР, выявленная при различных условиях ОР: а – I, б – II; в – III

*Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации Проект СП-259.2018.1.*

### **Библиографический список**

1. Методы исследования текстур в материалах: учебное пособие / М.Л. Лобанов [и др.]. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2014. 115 с.
2. Текстурная наследственность при фазовых превращениях в малоуглеродистой низколегированной трубной стали после контролируемой термомеханической обработки / М.Л. Лобанов, М.Д. Бородина, С.В. Данилов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, – № 11. – С. 910–918.
3. Причина формирования расщеплений при разрушении трубных сталей, изготовленных методом ТМСР / С.В. Данилов, Е.Р. Струина, М.Д. Бородина // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Т. 60, – № 3. – С. 247–249.
4. Исследование специальных разориентаций в реечном мартенсите низкоуглеродистой стали методом ориентационной микроскопии / М.Л. Лобанов, Г.М. Русаков, А.А. Редикульцев [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2016. – Т. 117. – С. 266–271.